

Este arquivo contém o texto completo do seguinte trabalho:

MARTINS, Roberto de Andrade. Límites del pensamiento científico: análisis de algunos conflictos entre física e filosofía. Pp. 266-273, in: HORENSTEIN, Norma; MINHOT, Leticia; SEVERGNINI, Hernán (eds.). *Epistemología e Historia de la Ciencia. Selección de Trabajos de las XII Jornadas*. Vol. 8. Córdoba: Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Filosofía y Humanidades, 2002. (ISBN 950-33-0346-X)

Este arquivo foi copiado da biblioteca eletrônica do Grupo de História e Teoria da Ciência <<http://www.ifi.unicamp.br/~ghtc/>> da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), do seguinte endereço eletrônico (URL):

<<http://ghtc.ifi.unicamp.br/pdf/ram-93.pdf>>

Esta cópia eletrônica do trabalho acima mencionado está sendo fornecida para uso individual, para fins de pesquisa. É proibida a reprodução e fornecimento de cópias a outras pessoas. Os direitos autorais permanecem sob propriedade dos autores e das editoras das publicações originais.

This file contains the full text of the following paper:

MARTINS, Roberto de Andrade. Límites del pensamiento científico: análisis de algunos conflictos entre física e filosofía. Pp. 266-273, in: HORENSTEIN, Norma; MINHOT, Leticia; SEVERGNINI, Hernán (eds.). *Epistemología e Historia de la Ciencia. Selección de Trabajos de las XII Jornadas*. Vol. 8. Córdoba: Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Filosofía y Humanidades, 2002. (ISBN 950-33-0346-X)

This file was downloaded from the electronic library of the Group of History and Theory of Science <<http://www.ifi.unicamp.br/~ghtc/>> of the State University of Campinas (UNICAMP), Brazil, from following electronic address (URL):

<<http://ghtc.ifi.unicamp.br/pdf/ram-93.pdf>>

This electronic copy of the aforementioned work is hereby provided for exclusive individual research use. The reproduction and forwarding of copies to third parties is hereby forbidden. Copyright of this work belongs to the authors and publishers of the original publication.

Límites del pensamiento científico: análisis de algunos conflictos entre física y filosofía

Roberto de Andrade Martins*

Introducción

Durante la historia de la física hubo diversas ocasiones en que las viejas teorías fueron substituidas por nuevas. Dos ejemplos paradigmáticos son la revolución copernicana y el inicio de la física moderna. En algunas revoluciones científicas ocurre el abandono de unos conceptos amplios que parecían sólidos, eternos, inmutables –conceptos que no surgieron como generalización de la experiencia, y estaban fundamentados sobre principios filosóficos.

Las transformaciones sucesivas de la ciencia introducen un problema filosófico profundo. ¿Hay alguna cosa que la ciencia no puede abandonar, en el futuro? ¿Hay algún principio sólido, inmutable, que se deba aceptar perpetuamente? ¿Hay principios metafísicos fundamentales que deban guiar y limitar el pensamiento científico (como Leibniz y Kant pensaban)?

La respuesta puede parecer directa para mucha gente que mira la ciencia desde el punto de vista del relativismo epistemológico. Para esas personas, la ciencia es tan sólo un juego humano, que no tiene nada sólido o inmutable. Tiene únicamente una cierta base empírica inestable, un sostén social fuerte y ningún fundamento *a priori*.

Los empiristas ciertamente tienen también una respuesta clara: la única base de la ciencia es la experiencia; no hay principios fundamentales *a priori*. Creo que los científicos (o la mayoría de ellos), del mismo modo, negarían cualquier límite *a priori* para la ciencia y rechazarían el intento de limitar su autonomía con estos principios.

Contra esas perspectivas, el presente artículo presentará argumentos a favor de principios *a priori* y tratará de proponer una conciliación entre su existencia y la práctica científica.

Razón y experiencia

Desde la Antigüedad han ocurrido conflictos entre la razón y la experiencia. A partir de la época de los griegos hasta Descartes, la mayoría de los filósofos negaron la posibilidad de una acción a la distancia (Martins, 1997). Parecía indiscutible que nada puede actuar en un lugar donde no está presente. Cuando Isaac Newton desarrolló su teoría de la gravitación, él no supuso que esta fuerza actuaba a la distancia, porque esto sería un error filosófico (Aiton, 1969). Por consiguiente, él procuró interpretar la gravitación como una acción producida por el éter o por partículas que volaban en todas las direcciones a través del espacio. Aunque la imposibilidad de acción a la distancia era un principio muy fuerte, fue abandonado en el siglo XVIII, cuando los físicos aceptaron que la gravitación era una acción distante inmediata (Hesse, 1970). Este cambio no se debió a una comprensión filosófica más profunda del problema. Fue debido a una mera negligencia de los problemas filosóficos que estaban detrás del concepto de gravitación.

* Grupo de Historia y Teoría de la Ciencia, Unicamp, Brasil.

De una manera similar, desde la Antigüedad hasta principios del siglo XVII el concepto de un espacio real vacío parecía, para la mayoría de los filósofos, algo incompatible con la razón (Martins, 1993). Las investigaciones experimentales de Evangelista Torricelli, Blaise Pascal, Robert Boyle y otros demostraron que un espacio aparentemente vacío era posible. Algunos filósofos del mismo período (tales como Descartes y el padre Noel) continuaron rechazando la posibilidad del vacío, por razones filosóficas. Dijeron que aunque no había ningún tipo conocido de materia en el espacio que parecía vacío, debía haber algo allí, porque un espacio totalmente vacío era impensable. Este punto de vista no fue aceptado por la mayoría de los científicos, que aceptaron el vacío como algo simple, sin molestarse con los problemas filosóficos subyacentes a este concepto.

Esos cambios no son un mero reemplazo de un sistema de conceptos científicos por otro sistema. Corresponden al abandono de preciosos principios filosóficos que son substituidos por nada. Nunca se supuso que la imposibilidad de la acción directa a la distancia y la imposibilidad de un vacío absoluto eran leyes empíricas. Efectivamente, estos principios son contrarios a nuestra experiencia común. Parece que los imanes pueden atraer pedazos de hierro sin tocarlos, y parece que hay espacios vacíos.

El principio de la causalidad

Hubo cambios más recientes de la misma naturaleza, con el abandono del principio de la causalidad en el siglo XX. Hay algunas formas especiales (o corolarios) de la causalidad que se han reconocido desde la Antigüedad:

- el principio que la causa sucede siempre antes de que sus efectos
- el principio que hay siempre algo permanente subyacente a cualquier cambio
- el principio que la simetría de las causas persiste en sus efectos

El principio de la antecendencia de las causas es considerado por algunos filósofos como la base de la asimetría del tiempo. Fue propuesto explícitamente por Aristóteles, y fue aceptado como principio *a priori* por la mayoría o posiblemente por todos los filósofos (Martins, 1986). Fue calificado a veces como una mera tautología, porque es difícil pensar en cualquier situación que podría estar en conflicto con este principio.

El segundo principio indica la permanencia de la sustancia bajo cualquier cambio. Fue también presentado claramente por Aristóteles. Es también *a priori*, y es la base filosófica de los principios científicos de la conservación, tales como la conservación de la masa, de la energía, del ímpetu, etc. (Meyerson, 1951).

El principio de la simetría de las causas y de sus efectos es otro ejemplo relevante. Siempre que haya varias alternativas y ninguna razón por la que uno de ellos debe ocurrir en vez de los otros, ninguno de ellos puede ocurrir (o todos deben ocurrir en el mismo tiempo). Este principio fue utilizado implícitamente por Anaximandro en su discusión referente a la posición central de la Tierra en el universo (Kirk, Raven & Schofield, 1983).

La quiebra de la causalidad en la física moderna

Todos esos principios (o corolarios del principio de la causalidad) son *a priori*. Se han admitido desde la Antigüedad hasta al siglo XX, y aún hoy son aceptados por la mayoría de los filósofos y de los científicos. Sin embargo, incluso esos principios no pasaron a través del siglo XX inmutables.

Se aceptó la antecendencia de las causas hasta el principio del siglo XX, y se utilizó esta premisa en la teoría especial de la relatividad para probar que no pueden existir velocidades

más grandes que la velocidad de la luz. Sin embargo, en 1949 Kurt Gödel probó que había un modelo cosmológico, compatible con la teoría general de la relatividad, adonde era posible viajar en el tiempo. En un universo que obedece las ecuaciones de Gödel, es posible iniciar un viaje de un cierto lugar, en un momento dado, y completar el viaje en el mismo lugar, pero en un momento anterior. El efecto de completar el recorrido sucede antes de que el recorrido comience.

Muchas consecuencias paradójicas siguen de la suposición de que es posible hacer viajes en el tiempo, como todos saben por la literatura y las películas de ficción científica. Albert Einstein rechazó el modelo de Gödel del universo, utilizando argumentos puramente *a priori*. Dos décadas más adelante, sin embargo, se determinó que los agujeros negros que giran producen la misma consecuencia. La mayoría de los físicos aceptan hoy en día que, según la relatividad general, viajes en el tiempo deben ser posibles. Ellos no se incomodan con las consecuencias filosóficas.

El principio de la conservación de la sustancia también fue desafiado en el siglo XX, en el desarrollo de la teoría cuántica. Hasta el 1930 se supuso que la materia era compuesta de las partículas elementales que tenían una existencia y una identidad permanentes. Los electrones, los protones y los neutrones eran las contrapartidas modernas de los átomos griegos. Los fotones no eran partículas permanentes —ellos pueden ser creados y ser destruidos— pero eso fue visto como no problemático, porque la luz era meramente una forma de energía. Hay algo peor, todavía. Según la electrodinámica cuántica, en un vacío verdadero las partículas y las antipartículas pueden surgir de la nada, y después de existir por un tiempo corto pueden desaparecer en la nada otra vez (Brown & Harré, 1990). Así pues, la física moderna rechazó uno de los principios filosóficos más respetados de todos los tiempos. Una vez más los físicos no están enterados que esto es un paso profundo y que están alejando de la física la posibilidad de entender estos cambios.

El principio de la simetría es otro ejemplo de una suposición *a priori* con raíces filosóficas profundas. Es la base de discusiones clásicas tales como la del asno de Buridan (a propósito, una discusión que se puede encontrar en Aristóteles). Este principio parecía evidente a Leibniz, quien utilizó el “principio de la razón suficiente” para discutir la relatividad del espacio y del tiempo. A partir del siglo XVII el principio de la simetría fue utilizado extensivamente por los físicos en su tentativa de proporcionar una base *a priori* para varias leyes físicas. A fines del siglo XIX este principio adquirió una formulación muy clara, debido al trabajo de Pierre Curie: “La simetría de causas subsiste en sus efectos.” El principio de simetría de Curie establece una obligación *a priori* que se aplica a todas las teorías físicas. Incluso se utiliza hoy en día extensivamente en la enseñanza de la física clásica (Doncel *et al.*, 1987).

Sin embargo, el principio de la simetría fue abandonado en algunos campos de la física moderna. Supóngase que tenemos un sistema de átomos radiactivos idénticos. Supóngase además que en un momento dado uno de ellos se desintegra. ¿Por qué este átomo específico se desintegró, en vez de los otros? Podríamos pensar que hay una especie de reloj dentro de los átomos, y que este átomo específico estaba ajustado para desintegrarse en este tiempo. Pero esa no es la interpretación física aceptada. Según la interpretación de la mecánica cuántica que es generalmente admitida, todos esos átomos son exactamente idénticos, y no hay ninguna razón por la cual uno de ellos debe desintegrarse antes de los otros. En un conjunto totalmente homogéneo, en un tiempo homogéneo, el “azar” elige el momento

específico y el átomo específico que va a sufrir este cambio. Además, según la interpretación que se acepta generalmente, la situación es totalmente simétrica, y no hay ninguna causa porque la radiación se debe emitir hacia una dirección u otra. Según el principio de la simetría, debería ser emitida al mismo tiempo en todas las direcciones, o no podría ser emitida. Contrariando al principio, se emite en una sola dirección, y no hay causa subyacente a esta opción.

Hoy día la mayoría de los físicos aceptan que el principio de la simetría es incorrecto: se aplica a algunos casos pero no es un principio general. Su quiebra demuestra que los viejos filósofos estaban equivocados cuando pensaron que era una verdad necesaria *a priori*.

Hubo importantes físicos que no aceptaron esta visión. Albert Einstein y Erwin Schrödinger, por ejemplo, rechazaron la interpretación de Copenhague de la teoría cuántica. A mediados del siglo XX, David Bohm formuló una visión alternativa de la teoría cuántica donde hay "variables escondidas," y nada ocurre por acaso (Cushing, 1994). Hay, por lo tanto, una alternativa viable a la interpretación de Copenhague que está de acuerdo con los viejos principios filosóficos. Sin embargo, en su mayoría los físicos se han acostumbrado a la interpretación de Copenhague, y no consideran que un abordaje causal sería un avance de la teoría cuántica.

Filosofía contra práctica científica

Los científicos han desterrado los viejos principios filosóficos sin discutirlos, sin refutarlos, y sin dar atención al significado filosófico de este cambio. En muchos casos, el abandono de principios *a priori* ocurrió juntamente con la aceptación de una perspectiva empirista. Éste fue claramente el caso en el desarrollo de la interpretación de Copenhague de la mecánica cuántica.

Si aceptamos que los científicos saben muy bien lo que deben hacer, entonces debemos concluir que los principios *a priori* no deben ser tomados seriamente y que la ciencia debe, inmediatamente o más adelante, desembarazarse de toda metafísica. Sin embargo, hay desacuerdo entre los científicos, y las actitudes científicas cambian con el tiempo. La filosofía tiene el derecho de discutir y de evaluar las decisiones tomadas por los científicos, sin la obligación de arrodillarse ante ellos toda la hora.

O los filósofos que propusieron principios generales *a priori*, o los científicos que los rechazaron, se equivocaron. Exploremos la segunda alternativa: quizás la ciencia no está siguiendo una trayectoria apropiada.

Desde un punto de vista histórico, había algunos principios generales que, según se suponía, podían aplicarse a todos los fenómenos. Esos principios no se originaron por experiencia. Surgieron de un análisis filosófico que incluso estuvo en conflicto con la experiencia diaria y con el sentido común. Las personas quienes los propusieron no los consideraban como meros instrumentos heurísticos, sino como leyes necesarias. Si la naturaleza no obedeciera el principio de la causalidad, por ejemplo, sería simplemente imposible entenderla. Si la naturaleza es comprensible, debe conformarse con nuestra razón, y por lo tanto no debe existir nada que nuestra comprensión rechaza admitir.

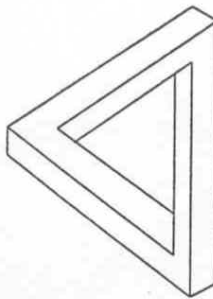
¿Es posible establecer límites *a priori* sobre lo que es posible o imposible? ¿No sería esta una tentativa tonta y errónea? No parece. Demos un ejemplo geométrico.

Hay algunas figuras famosas, tales como "La Cascada" de Maurits Escher, que representan objetos tridimensionales imposibles (Ernst, 1991). Ellos están en conflicto con

nuestra intuición geométrica más básica. Tales objetos imposibles son dibujados de modo que cada pequeña parte de los mismos es posible, pero el conjunto es incongruente. Una parte, mirada aisladamente, estaría próxima del observador; pero cuando es comparada con otras, se ve que estaría por detrás de otra parte, y por lo tanto estaría lejos del observador.



El caso más simple de las figuras imposibles es una figura triangular.



El dibujo del triángulo imposible contiene, en forma simbólica, indicios de relaciones del tipo "A está más lejos del observador que B" —que representaremos como $A \& B$. Por supuesto, si $A \& B$ es verdadero, entonces $B \& A$ es falso, y de $A \& B$ con $B \& C$ es posible concluir que $A \& C$. Cuando recorremos un camino cerrado en estas figuras imposibles encontramos una serie del tipo $A \& B$, $B \& C$, $C \& D$, ... $M \& N$, $N \& A$. De todas estas relaciones (exceptuando la última) es posible concluir que $A \& N$, pero esto es incompatible con la última relación, $N \& A$. Por lo tanto, cuando volvemos al punto inicial, encontramos una contradicción geométrica.

En el caso de otras figuras imposibles, el análisis no es tan simple, pero ellas involucran asimismo algo semejante a una contradicción.

Alguien puede pensar que nuestra dificultad en pensar sobre esos objetos no significa que ellos no pueden existir. Yo no puedo creer, sin embargo, que sería posible construir un objeto verdadero, tridimensional, correspondiente a dibujos como estos —y supongo que ustedes concuerdan conmigo. Si alguien nos pudiera mostrar una fotografía de tal objeto (y hay, sí, fotografías de objetos imposibles), tendríamos excelentes razones *a priori* de afirmar que la fotografía es falsa, o que fue utilizado un cierto truco para producirla, incluso si no podemos explicar cómo la fotografía fue tomada.

Por lo tanto, incluso hoy en día, debemos admitir que hay límites para lo que los seres humanos pueden aceptar como correspondiendo a la realidad. Si existiera algo que violara las limitaciones impuestas por la comprensión humana, sería imposible conocerla o comprenderla.

Ciencia práctica contra filosofía natural

La negación de la causalidad, por la interpretación de Copenhague de la mecánica cuántica, corresponde a una renuncia de entender algunos fenómenos naturales. Según este enfoque, es imposible entender la desintegración de un núcleo radiactivo o la creación de una partícula en el vacío. Esta imposibilidad no es transitoria, o debida a límites de nuestros instrumentos. Según la interpretación de Copenhague, esta imposibilidad es permanente y nunca será superada.

En la historia inicial de la mecánica cuántica, la rama de Copenhague de la teoría desarrolló métodos para hacer cálculos, hacer predicciones y explicar varios fenómenos, pero estaba en conflicto con el principio de la causalidad. Había otra rama de la teoría rival, desarrollada por Louis de Broglie y Erwin Schrödinger, que estaba de acuerdo con el principio de la causalidad. Quizás Bohr y su grupo temían que este conflicto disminuiría la importancia de su trabajo. Quizás por esa razón desafiaron fuertemente a la causalidad y propusieron una interpretación según la cual los principios filosóficos anteriores debían ser abandonados.

Esta perspectiva desarrollada por el grupo de Copenhague impone una limitación a todos los progresos futuros de la física, y niega la validez de cualquier tentativa de entender esos fenómenos. Si aceptamos que las ideas de Bohr jamás serán reemplazadas, entonces esta interpretación no hará ningún daño a la ciencia. Ahora, suponga que la interpretación de Copenhague es incorrecta. Su aceptación pasajera tendrá el efecto de obstruir el desarrollo de la ciencia. Si en un futuro próximo o distante la teoría cuántica contemporánea es derribada, la gente percibirá que dañó el desarrollo del conocimiento humano. Mi creencia personal es que la ciencia no ha llegado a su terminación, y que nuestras teorías físicas básicas serán reemplazadas por otras mejores en el futuro. Consecuentemente, juzgo todas las restricciones al cambio científico como negativas.

Un conflicto entre la teoría cuántica y el principio filosófico de la causalidad produce diversas reacciones. Algunas personas piensan que este conflicto no da lugar a ningún problema —uno apenas rechaza los principios filosóficos y no necesita pensar sobre ellos. Esas personas son como los que miran a los dibujos de objetos imposibles y ni siquiera perciben que son imposibles.

Otros piensan que este conflicto es inaceptable, y que la teoría científica debe cambiar para adecuarse a los principios filosóficos. Esas diversas actitudes se asocian probablemente a diversos grupos psicológicos, pero la aceptación ciega de una teoría es a veces debida al interés profesional o a la lealtad hacia el grupo.

Hay todavía otro modo de comprender este conflicto —como un antagonismo entre valores científicos. Las dos clases más amplias de valores científicos intrínsecos son el *poder científico* y la *harmonía científica* (Martins, 1987). El poder científico está asociado a la posibilidad de prever fenómenos con gran precisión, de describir y explicar muchos fenómenos, de ampliar el campo de estudios, de establecer un control sobre la naturaleza. La armonía científica es una búsqueda de coherencia, de simplicidad, de belleza, de un fun-

damento sólido para la ciencia, de unificación entre los diversos dominios del conocimiento—tanto los conocimientos científicos como los filosóficos y también religiosos, éticos, etc.

En todos los períodos hay personas que llamaré *científicos prácticos*: los que consideran el poder científico como el valor científico esencial. Se ocupan fuertemente con la predicción y la explicación de fenómenos, y no están interesados en otras características tales como la creación de un fundamento sólido para las teorías, o la comprobación de su coherencia. Para la mayoría de los físicos contemporáneos, las paradojas de Zenón y los argumentos contra el vacío o contra la acción a la distancia parecen algo estúpido que no merece atención cuidadosa.

Contra los científicos prácticos, hay una tendencia opuesta de otro tipo de personas, que llamaré *filósofos de la naturaleza*. Estos son los que acentúan la necesidad de comprender la naturaleza y de desarrollar una teoría coherente y bien fundamentada sobre el mundo racional—incluso desde el punto de vista filosófico. La diferencia entre los científicos prácticos y los filósofos de la naturaleza es similar a la distinción entre los astrónomos matemáticos y los astrónomos físicos, descritos por Pierre Duhem en su libro “Salvar los fenómenos” (Duhem, 1984). La orientación de la astronomía matemática era el desarrollo de teorías que pudieran satisfacer los fenómenos, proporcionando una previsión cuantitativa exacta. La astronomía física, por otra parte, era una tentativa de entender las causas de los movimientos celestes y de relacionar la teoría astronómica con una teoría filosófica más amplia de la materia y del movimiento.

Estas son dos maneras opuestas de ver la ciencia.

La posibilidad de una síntesis

En la historia de la ciencia se observa que los valores de los científicos prácticos no son simplemente diferentes de los valores de los filósofos de la naturaleza. Esas dos actitudes suelen oponerse una contra la otra y generar conflictos. Es comprensible que las personas que adoptan cada una de esas actitudes atacarán el otro grupo y denunciarán la perspectiva opuesta como inválida, presentando su propio punto de vista como el único aceptable.

Puede parecer que es imposible conciliar los valores del científico práctico y del filósofo de la naturaleza. Con todo, los conflictos se presentan solamente cuando cada actitud se interpreta como capaz de imponer límites sobre el trabajo científico del otro grupo. Esa era, de hecho, la situación histórica entre 1925 y 1935. Bohr y su grupo negaron la validez de las preocupaciones de Einstein y de Schrödinger. Einstein y Schrödinger negaron la validez de una teoría que estaba en conflicto con la causalidad. Frente a esas actitudes, no había acuerdo posible.

Sin embargo, es posible adoptar otra comprensión de estos diferentes valores, de una manera tal que colaboren mutuamente y se complementen para proporcionar una visión más completa del esfuerzo científico.

Los filósofos de la naturaleza, que atribuyen un alto valor a los principios filosóficos, a la necesidad de comprender la naturaleza y a la armonía del conocimiento, pueden aceptar como válido proponer y desarrollar nuevas teorías científicas incluso cuando están en conflicto con esos principios, bajo la condición de que esas teorías sean contempladas como tentativas o como hipótesis de trabajo transitorias. En el futuro, una nueva teoría más adecuada podría ser propuesta, o se podría encontrar un acuerdo entre la teoría y los principios

filosóficos. Esta actitud, interpretada de esa manera, no procuraría prohibir el desarrollo de ninguna propuesta científica.

Inversamente, los científicos prácticos, que desean expandir la capacidad de la ciencia mejorando su poder explicativo y de predicción, y que no se ocupan mucho con las cuestiones conceptuales de aclaración o de fundamentación, podrían aceptar que el conflicto entre las nuevas propuestas científicas y los viejos principios filosóficos aporta realmente una dificultad, y que sería deseable lograr una conciliación, o una nueva interpretación de la teoría, que pudiera superar este conflicto.

Esos dos enfoques diversos a la ciencia podrían, de esta manera, colaborar y complementarse en una tentativa de construir una nueva ciencia que será, al mismo tiempo, más armoniosa y más poderosa.

Bibliografía

- Aiton, E.J. (1969). "Newton's aether-stream hypothesis and the inverse square law of gravitation". *Annals of Science* 25, 255-60.
- Brown, Harvey R.; & Harré, Rom (eds.) (1990). *Philosophical foundations of quantum field theory*. Oxford: Clarendon Press.
- Cushing, James (1994). *Quantum mechanics: historical contingency and the Copenhagen hegemony*. Chicago: University of Chicago Press.
- Doncel, Manuel G.; Hermann, Armin; Michel, Louis; & Pais, Abraham (eds.) (1987). *Symmetries in Physics (1600-1980)*. Barcelona: Universitat Autònoma de Barcelona.
- Duhem, Pierre (1984). *Salvar os fenômenos*. Trad. R. de A. Martins. *Cadernos de História e Filosofia da Ciência* (suplemento 3).
- Ernst, Bruno (1991). *O espelho mágico de Maurits Cornelis Escher*. Berlin: Taschen.
- Hesse, Mary B (1970). *Forces and fields. The concept of action at a distance in the history of physics*. Westport: Greenwood Press.
- Kirk, G.S.; Raven, J.E.; & Schofield, M. (1983). *The presocratic philosophers: a critical history with a selection of texts*. 2ª. ed. Cambridge: Cambridge University Press.
- Martins, Lilian Al-Chueyr Pereira; & Martins, Roberto de Andrade (1999). "Aceptación o rechazo de las hipótesis o teorías: un nuevo método de análisis". In: Sota, Eduardo; & Urtubey, Luis (eds.). *Epistemología e Historia de la Ciencia. Selección de Trabajos de las IX Jornadas*, Vol. 5 (n. 5). Córdoba: Universidad Nacional de Córdoba, 273-280.
- Martins, Roberto de Andrade (1986). "O princípio de antecedência das causas na teoria da relatividade". *Anais da ANPOF* 1 (1), 51-72.
- Martins, Roberto de Andrade (1987). *Sobre o papel dos desiderata da ciência*. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, tesis de doctorado.
- Martins, Roberto de Andrade (1993). "Em busca do nada: considerações sobre os argumentos a favor e contra o vácuo". *Trans/Form/Ação* 16, 7-27.
- Martins, Roberto de Andrade (1997). "Descartes e a impossibilidade de ações à distância". In: Fuks, Saul (org.), *Descartes 400 anos: um legado científico e filosófico*, Rio de Janeiro: Relume Dumará, pp. 79-126.
- Meyerson, Émile (1951). *Identité et réalité*. 5ª. ed. Paris: J. Vrin.